



LED商用荧光粉的发光特性研究与应用分析

王忆, 王梦霞, 俞子喆, 罍一帆, 周勤勤, 王欣月

引用本文:

王忆, 王梦霞, 俞子喆, 罍一帆, 周勤勤, 王欣月. LED商用荧光粉的发光特性研究与应用分析[J]. 信阳师范学院学报自然科学版, 2020, 33(3): 427-433. doi: 10.3969/j.issn.1003-0972.2020.03.015

WANG Yi, WANG Mengxia, YU Zizhe, GANG Yifan, ZHOU Qinqin, WANG Xinyue. Study and Analysis of Luminous Properties for Commercial LED Fluorescent Powder[J]. *Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition)*, 2020, 33(3): 427-433. doi: 10.3969/j.issn.1003-0972.2020.03.015

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0972.2020.03.015>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

水热法制备 $\text{Li}_4-3\text{xEu}_\text{x}(\text{WO}_4)_2$ 微晶及其发光性能

Hydrothermal Synthesis of $\text{Li}_4-3\text{xEu}_\text{x}(\text{WO}_4)_2$ Microcrystallines and Its Luminescent Properties

信阳师范学院学报自然科学版, 2017, 30(3): 436-439. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0972.2017.03.019>

Eu^{3+} 和 Yb^{3+} 掺杂的近红外发光材料的制备及荧光性能

Preparation and Spectroscopic Characterization of Eu^{3+} and Yb^{3+} Near Infrared Luminescent Material

信阳师范学院学报自然科学版, 2018, 31(2): 268-271. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0972.2018.02.018>

Bi^{3+} 掺杂对 $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$ 荧光粉发光性能的影响

The Photoluminescence of Bi^{3+} + Doping $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$ Phosphors

信阳师范学院学报自然科学版, 2015(4): 493-495,523. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0972.2015.04.008>

Gd_2O_3 中掺杂 Eu^{3+} 和 Yb^{3+} 荧光粉的制备及荧光性能

Preparation and Spectroscopic Characterization of Eu^{3+} and Yb^{3+} Doped Gd_2O_3 Phosphors

信阳师范学院学报自然科学版, 2015(3): 385-388. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0972.2015.03.018>

基质吸力作用下非饱和粉土强度特性研究

Strength Characteristics of Unsaturated Silt under Suction Control

信阳师范学院学报自然科学版, 2017, 30(3): 478-483. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-0972.2017.03.028>

LED 商用荧光粉的发光特性研究与应用分析

王 忆^{1,2*}, 王梦霞¹, 俞子喆², 罡一帆¹, 周勤勤¹, 王欣月¹

(1. 五邑大学 应用物理与材料学院, 广东 江门 529020; 2. 广明源光科技股份有限公司, 广东 江门 529000)

摘要:针对 LED 商用荧光粉在配粉应用中存在的问题,选择 450 nm 的蓝光作为激发波长,以市场上 5 家企业生产的多款 LED 商用荧光粉为研究对象,对其发射光谱和激发光谱进行深入的发光特性研究.结果表明:同一企业不同种类(或颜色)的荧光粉发光强度相差很大;同一种颜色不同峰值波长的荧光粉发光强度相差很大;不同企业同一种颜色的荧光粉发光强度相差也比较大.针对上述问题,根据光谱设计原理、实际发光光谱结构以及整体光电色性能的需要,提出了 LED 荧光粉在高性能 LED 光源配粉应用中的技术设计思路和方案.

关键词:白光 LED; 荧光粉; 发射光谱; LED 配粉; 封装工艺

中图分类号:TM923

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study and Analysis of Luminous Properties for Commercial LED Fluorescent Powder

WANG Yi^{1,2*}, WANG Mengxia¹, YU Zizhe², GANG Yifan¹, ZHOU Qinqin¹, WANG Xinyue¹

(1. School of Applied Physics and Materials, Wuyi University, Jiangmen 529020, China;

2. GMY Lighting Technology Co. Ltd., Jiangmen 529000, China)

Abstract:In view of many problems existing in the application of LED commercial phosphors in powder blending, the blue light of 450 nm is selected as the excitation wavelength, and many LED commercial phosphors produced by five enterprises in the market are taken as the research objects, and their emission spectra and excitation spectra are deeply studied. The experimental results show that the luminous intensity of different kinds (or colors) of the same enterprise is in a big difference, the luminous intensity of the same color and different peak wavelength is very different, and the luminous intensity of the same color of different enterprise is also quite different. In order to solve the above problems, according to the principle of spectral design, the actual structure of luminous spectrum and the needs of the whole photoelectric color performance, the technical design idea and powder blending scheme of LED phosphor in the application of high performance LED light source are put forward.

Key words: white-light LED; fluorescent powder; emitting spectrum; powder blending; package technology

0 引言

在我国“十二五”规划中,半导体照明产业被列为国家七大战略性新兴产业之首.其技术推广与应用的速度非常快,涉及的学科与专业跨度大^[1,2],仍有不少技术亟待完善和改进,LED 封装问题就是其一.

LED 封装产业涉及多种自动化设备、LED 芯

片、灯珠支架、荧光粉材料、各种胶体材料、一次光学设计、二次光学设计、专用驱动电源设计等,其工艺技术的复杂程度相对较高.全面优化的 LED 光源封装技术是 LED 光源进入通用照明领域的关键^[3,4].目前实现白光 LED 的 3 种主流方案分别是:蓝光 LED 芯片激发多色荧光粉;多芯片(红、绿、蓝三色 LED)合成白光;紫光或近紫外芯片激发三基色荧光粉^[5].从技术成熟度和制造成本等多

收稿日期:2019-09-25;修订日期:2019-11-26; * 通信联系人, E-mail: yiwangll@aliyun.com

基金项目:国家自然科学基金项目(21975187);广东省科技计划项目(粤科规财字[2015]110号、粤科规财字[2015]151号、粤科规财字[2014]211号);江门市科技计划项目([2017]307号、江财工[2017]149号);广东省高校科研创新团队(2015KCXTD027);中山科技计划项目[2016]224号

作者简介:王忆(1963—),男,安徽亳州人,教授,博士,硕士生导师,主要从事半导体照明芯片制造及封装技术的研究.

种因素综合考虑,目前白光LED封装光源主要利用的是蓝光LED芯片激发多种荧光粉材料复合而成^[6].因此高光效LED用荧光粉仍是研究的热点.刘永福^[7-8]等利用高温固相法制备了 $\text{Ba}_9\text{Lu}_2\text{Si}_6\text{O}_{24}:\text{Ce}^{3+}$ 和 $\text{Ba}_9\text{Lu}_2\text{Si}_6\text{O}_{24}:\text{Eu}^{2+}$ 两种青色荧光粉,对近紫外/紫光有高效吸收,发射蓝绿色光;郎天春^[9]等通过高温固相法制备了 $\text{LuAG}:\text{Ce}^{3+}$ 的黄绿色荧光粉,其有效激发光峰位分别位于348 nm和450 nm,可以有效被蓝光激发;WANG^[10]等利用高温固相法成功制备了新型石榴石荧光粉 $\text{CLHA}:\text{Ce}^{3+}$,随着 Ce^{3+} 浓度的增加,由于 Ce^{3+} 离子之间的能量转移,发射色调可以实现从青色变为蓝绿色;PARK^[11]等研究了 $\text{ARSi}_4\text{N}_7:\text{Eu}^{2+}$ ($\text{A}=\text{Sr},\text{Ba},\text{Ca};\text{R}=\text{Y},\text{La},\text{Lu}$)的发光性能,该荧光粉的有效激发光谱在300~420 nm,适合于近紫外激发;赵涛涛^[12]等利用溶胶凝胶法制备了 Bi^{3+} 掺杂 $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$ 荧光粉,其最佳激发波长为465 nm;DU^[13]等通过高温固相反应法合成了一系列高纯相蓝光激发的黄绿光 $\text{La}_{3-x}\text{Si}_6\text{N}_{11}:x\text{Ce}^{3+}$ 荧光粉,激发光谱在400~500 nm;庄卫东^[14]课题组采用高温固相法制备了不同 Eu^{2+} 浓度掺杂的 $\text{Sr}_2\text{Si}_5\text{N}_8$ 的红色荧光粉,荧光粉的激发光谱覆盖了300~500 nm的紫外到蓝光区域,最有效激发峰位于360 nm,另一有效激发在420 nm左右;LIU^[15]通过高温固相法合成了一系列新型的红色荧光粉 $\text{Li}_6\text{M}(\text{La}_{1-x}\text{Eu}_x)_2\text{Nb}_2\text{O}_{12}$ ($\text{M}=\text{Ca},\text{Sr},\text{Ba};0\leq x\leq 3$),并对其结构和光致发光性能进行了详细研究. $\text{Li}_6\text{M}(\text{La}_{1-x}\text{Eu}_x)_2\text{Nb}_2\text{O}_{12}$ 的激发光谱有两个主要激发峰值分别为393 nm和464 nm,可与近紫外和蓝色LED两种芯片匹配;李涛^[16]等利用水热法制备了一系列红色荧光粉 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$,该荧光粉能够被近紫外光(395 nm)有效激发,但不适合450 nm蓝光芯片的激发.

荧光粉的光致发光性能会直接影响到白光LED器件的光电转化效率及光色品质,如显色指数、色坐标、色温、发光效率等.因此,在白光LED封装工艺中,针对所选白光LED光源的荧光粉材料应具备以下几个基本条件:1)在LED芯片特定波长的蓝光激发下,荧光粉可以发射出较高发光效率的绿光、黄光、红光等,然后与芯片的蓝光一起合成所需要的白光;2)封装所使用的几种荧光粉的有效激发光谱都应LED芯片的发射光谱相匹配;3)荧光粉物理、化学性能稳定,如抗潮,不与封装材料、芯片与支架等发生化学反应等;4)灯珠支

架的结温对于荧光粉光衰影响要小.

对于白光LED封装,LED芯片和荧光粉的选择需要满足所设计光谱中各个光谱分量特性和光谱精细结构最优配比的需求^[17].由于缺乏测试设备和相关专业系统的知识背景^[18-19],现实生产中很多LED封装企业对封装材料的性质,尤其是芯片和荧光粉的性质了解不够,导致LED封装配粉中存在很多问题^[18-19].比如:1)在LED封装配粉中,由于对LED芯片的发射波长、芯片的光效、芯片的结温等参数不了解,对各种荧光粉发光性质掌握不够,无法实现所设计光谱基本特性及相互关系的平衡,致使荧光粉的发光特性得不到有效激发,LED发光光效得不到有效提升;2)由于缺乏荧光材料的理论知识,在荧光粉的选择、光-色参数以及光谱结构的设计上,均无法进行有效的配粉设计^[20];3)白光LED封装技术的核心要求光度、色度学参数(如光效、色温、色域、显色性、色坐标、均匀性)等都需要在发光光谱中表现出来,绝大多数企业做不到科学地LED荧光粉配粉设计,比如,为了得到暖白光,只知道多加入一定量的红粉来实现,但牺牲了大部分光效.

针对上述白光LED荧光粉配粉中存在的问题的报道较少,因此本课题组以市场白光LED灯珠常用蓝光芯片的发射光谱(发射波长=450 nm)作为激发光谱,研究分析了目前市场常用的5家商用荧光粉的发射光谱和激发光谱,比较了这些荧光粉发射光谱和激发光谱性质,根据发光材料的性质和光谱结构设计原理,提出白光LED光谱的荧光粉配比优化设计方案,解决现实状况LED产品封装技术的不足.

1 实验方法

选择市场上普遍使用的5家企业生产的多款LED商用荧光粉作为研究对象.由于来自不同公司的荧光粉静置时间久、密封不够等会出现潮湿、结块现象,为确保实验数据的一致性与科学性,测试之前对所有荧光粉进行预处理,统一经过干燥箱烘烤和研磨的处理.为确保测试结果与目前市场通用的评价标准具有可比性,对所有荧光粉发射光谱均采用450 nm的激发波长进行测试,同时采用最佳发射光谱的波长作为监测波长.测试设备采用日立F-4600荧光分光光度计.为保证测试条件的一致性,在光谱仪中设定电压为400 V,双狭缝宽度均为2.5 nm,扫描速度为2400 nm/min,响应时间

为 0.5 s.这些测试条件符合企业生产测试的实际情况,有较高的实际参考价值.

2 结果与分析

2.1 荧光粉发射光谱情况

对 5 家公司的 67 种商用荧光粉的发光特性进行了系统测试.图 1 为 A 公司 12 种荧光粉的发射光谱图,所有的激发波长均为 450 nm,其中括号内的数值为企业标称的发射光谱波长.

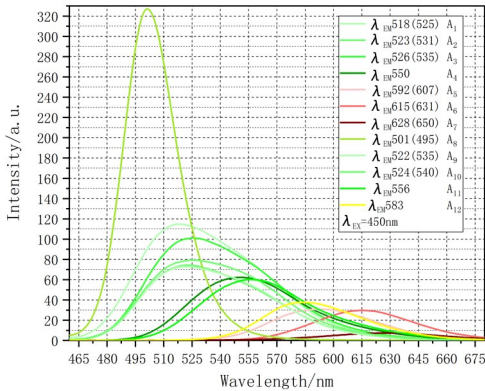


图 1 A 公司 12 种荧光粉的发射光谱图

Fig. 1 Emission spectrum of 12 kinds of phosphors of company A

由图 1 可知,A 公司的 12 种荧光粉中,8 种为绿色荧光粉,1 种黄色荧光粉,3 种红色荧光粉.图 1 中所列的两个波长一个是实测的发射波长,括号内的是 LED 荧光粉企业提供的发射波长.首先发现,大部分商用荧光粉标称光谱的发射波长与实际测试出的发射波长不一致,甚至差别较大,可以肯定,这对于企业配粉是十分不利的.绿色荧光粉中,绿色荧光粉的峰值波长位于 518 nm(在 A 公司的绿色荧光粉中发光强度最强),其发光效率属上等水平.3 种红色荧光粉峰值波长分别位于 592、615、628 nm,从图中可以看出,峰值波长为 592 nm 与 615 nm 的红粉发光强度较好,可以用作 LED 暖白光灯珠的封装.而峰值波长为 628 nm(标称 650 nm)红色荧光粉的发光效率比较低,与市场应用的通用标准比较,该红色荧光粉不适合添加使用,它会大大降低发光效率.市场上很多 LED 暖白光灯珠光效普遍较低的主要原因之一就是使用了低光效荧光粉.

另外,A 公司发射峰值波长为 518 nm 的绿色荧光粉和发射峰值波长为 501 nm 的蓝绿色荧光粉相比,其波长为 518 nm 的发光强度只是波长 501 nm 蓝绿色荧光粉发光强度的 35.10%.

由此知:同一公司不同主波长的荧光粉其发光

强度相差很大.

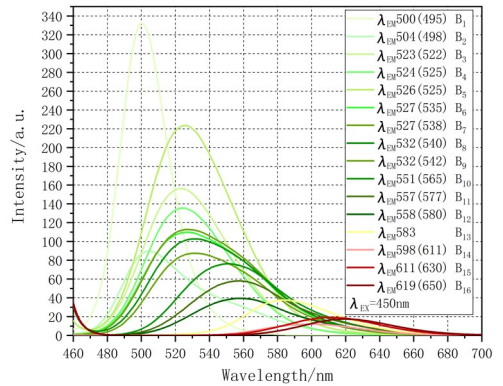


图 2 B 公司 16 种荧光粉发射光谱图

Fig. 2 Emission spectrum of 16 kinds of phosphors of company B

图 2 是 B 公司的 16 种荧光粉的发射光谱图.由图 2 可知,B 公司的 16 种荧光粉中,12 种绿色荧光粉,1 种黄色荧光粉,3 种红色荧光粉.所使用激发波长都是 450 nm.在绿色荧光粉中,峰值波长位于 500 nm(在 B 公司的绿色荧光粉中发光强度最强)的荧光粉其发光效率属上等水平,峰值波长位于 558 nm 的光粉其发光强度最弱,558 nm 的发光强度是 500 nm 的发光强度的 11.87% 左右.可见,同一企业同种颜色不同峰值波长的荧光粉发光强度相差很大.黄色荧光粉峰值波长位于 583 nm,发光效率属上等水平,可以作为 LED 灯珠封装黄粉的使用.B 公司的 3 种红色荧光粉的发光强度都较差,与市场的通用标准比较,都不适合 LED 暖白光灯珠封装.

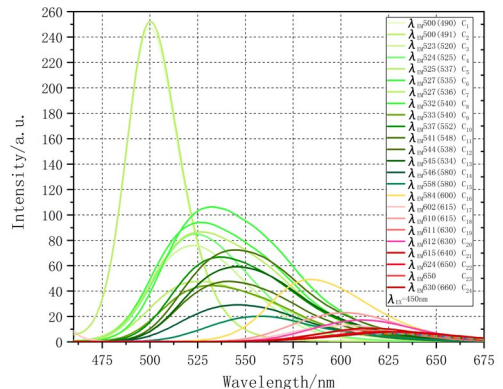


图 3 C 公司 24 种荧光粉发射光谱图

Fig. 3 Emission spectrum of 24 kinds of phosphors of company C

图 3 为 C 公司的 24 种荧光粉的发射光谱图.由图 3 可知,C 公司的 24 种荧光粉中,15 种为绿色荧光粉,1 种橙粉色荧光粉,8 种红色荧光粉.所使用的激发波长都是 450 nm.绿色荧光粉中,峰值波长是 500 nm(在 C 公司的蓝绿色荧光粉中发光

强度最强)的蓝绿色荧光粉其发光效率属上等水平,比较适合用于对 LED 传统光谱中该波段范围的有效补偿.由图 3 还可知,该公司的绿色荧光粉波长跨度大,而且随着波长的不断增加,发光强度逐渐降低.橙粉色荧光粉峰值波长是 584 nm,发光效率属上等水平,可以选作 LED 灯珠的封装;8 种红色荧光粉的发光强度都比较差,与市场应用的通用标准比较,都不适合用作 LED 暖白光灯珠的封装.

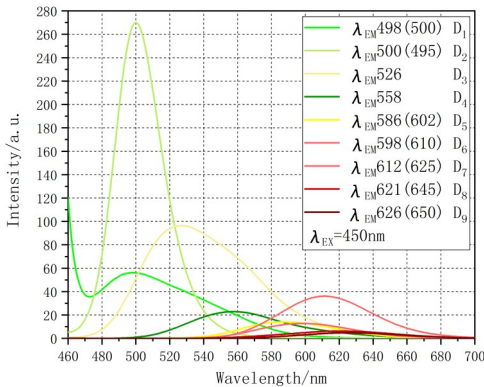


图 4 D 公司 9 种荧光粉发射光谱图

Fig. 4 Emission spectrum of 9 kinds of phosphors of company D

图 4 为 D 公司的 9 种荧光粉的发射光谱图.由图 4 可知,D 公司的 9 种荧光粉中,4 种为绿色荧光粉,1 种黄色荧光粉,4 种红色荧光粉.所使用激发波长都是 450nm.绿色荧光粉中,峰值波长位于 498nm(在 D 公司的蓝绿色荧光粉中发光强度最强)的蓝绿粉,同前面两个公司的蓝绿色荧光粉相比,其发光效率属中上水平.黄色荧光粉有 1 种,峰值波长是 586nm,发光效率较低,不建议用于 LED 灯珠的封装.4 种红色荧光粉,其峰值波长分别位于 598、612、621、626 nm,从图中可以看出,峰值波长为 612 nm 的红粉发光强度较好,可以用作 LED 暖白光灯珠封装,而其他 3 种荧光粉的发光效率都比较低,与市场应用的通用标准比较,都不适合添加使用.

D 公司峰值波长为 612 nm 具有最强发射效率的红色荧光粉相对于其发射峰值波长为 500 nm 具有最强发射效率的蓝绿色荧光粉,其发光强度只相当于蓝绿色荧光粉发光强度的 13.36%.

由此知:同一公司、不同颜色(不同峰值发射波长)的荧光粉其发光效率差异比较大.

由图 5 可知,E 公司的 6 种荧光粉中,1 种为绿色荧光粉,5 种红色荧光粉.所使用激发波长都是 450 nm.该公司提供的荧光粉发射波长与实测

的波长差别较大,尤其是红色荧光粉.绿色荧光粉中,峰值波长位于 520 nm(在 E 公司的绿色荧光粉中发光强度最强)的,其发光效率属中上等水平.5 种红色荧光粉,其峰值波长分别位于 610、620、625 nm(标称 650 nm)、2 种 616 nm(分别标称 630 和 640 nm),从图中可以看出,峰值波长为 616 nm(标称 631 nm)的红色荧光粉发光强度最好,可以用作 LED 暖白光灯珠封装,而其他 4 种红色荧光粉的发光效率都比较低,与市场应用的通用标准比较,这 4 种红色荧光粉都不适合添加使用.其次,商家提供的荧光粉波长会误导企业的配粉方案.

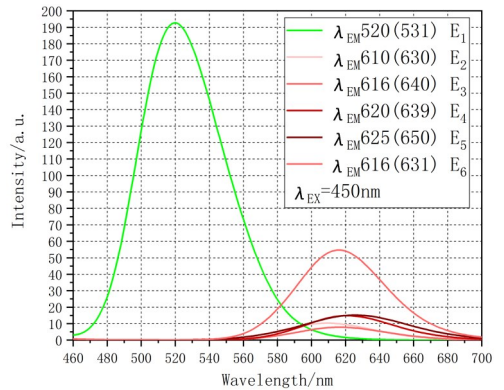


图 5 E 公司 6 种荧光粉发射光谱图

Fig. 5 Emission spectrum of 6 kinds of phosphors of company E

2.2 发射光谱及激发光谱对比

荧光粉的选用需满足两个要求^[17]:1)荧光粉的激发光谱与 LED 芯片的发射光谱相匹配,可有效提高荧光粉的转换效率;2)荧光粉的发射光谱与 LED 芯片的发射光谱相匹配,获得所需要光谱.从 67 种荧光粉中选取发光效果较好的 13 种,并绘制它们的激发光谱,见图 6.由图 6 可知,13 种荧光粉中有 5 种红色荧光粉,3 种黄色荧光粉(A 与 B 公司的 582 型号谱图极其接近,谱图显示的为 2 个黄色荧光粉的激发光谱,实则是 3 个激发光谱图),5 种绿色荧光粉.激发效率最高的是绿色荧光粉,最差的是红色荧光粉.从图中可以看出,绿色荧光粉最佳吸收波段位于 280~380 nm 内,覆盖了从紫外光到蓝光的光区,可以与紫外/近紫外芯片 LED 的发射光谱匹配,通用 450 nm 的激发波长并非最佳激发波长,因此,真正满足 450 nm 有效激发的绿色荧光粉是一个值得研究的课题;对比黄色与红色荧光粉的激发光谱图,激发光谱覆盖到 320~400 nm 的紫外区,峰值波长为 370 nm,可以与近紫外芯片 LED 的发射光谱匹配,黄粉的激发效率通常比红粉的激发效率高,红粉除了 A 公司的 615

(631)的激发效率较好外,其他的激发效率都普遍较低。

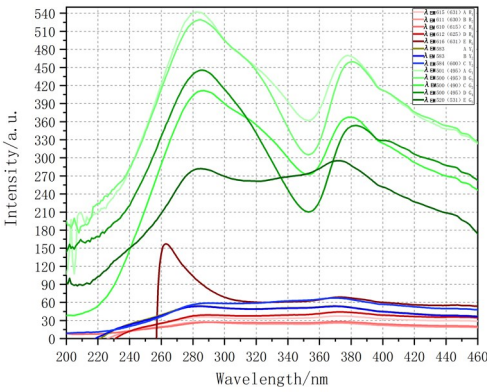


图6 部分荧光粉的激发光谱图

Fig. 6 Excitation spectrum of some phosphors

根据实验检测数据,笔者从各个公司的荧光粉中分别挑选了发射峰值波长分别在490~500 nm之间的蓝绿色或青色荧光粉、发射峰值波长在510~540 nm之间的绿色荧光粉、发射峰值波长在580~600 nm之间的粉红色荧光粉以及发射峰值波长在610~625 nm之间的红色荧光粉等分别进行了对比。

蓝绿色荧光粉对比情况如图7所示,所选荧光粉都是各公司发射光谱强度最高的。

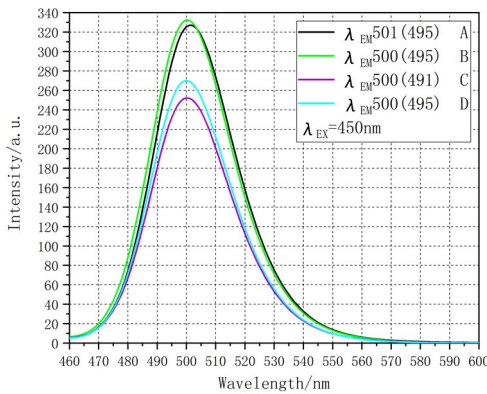


图7 蓝绿色、青色荧光粉对比情况图

Fig. 7 Comparison of blue-green or cyan phosphors

表1 LED蓝绿色或青色荧光粉发射光谱性能参数对比

Tab. 1 Comparison of emission spectral properties of LED blue-green or cyan phosphors

激发波长/nm	发射波长/nm	半峰宽/nm	峰值强度	色坐标	生产商
450	501	43	327.0	(0.0747,0.5685)	A
450	500	43	332.5	(0.0724,0.5494)	B
450	500	31	252.2	(0.0741,0.5463)	C
450	500	30	270.2	(0.0694,0.5462)	D

由图7和表1中可知,A、B公司的蓝绿色荧光粉具有较高的发光效率,其发射光谱的半高宽比C与D公司的要大12 nm,对于保证光谱的均匀性与连续性有较好的作用,选择A、B两公司的蓝绿色或青色荧光粉在LED封装中来补偿480~510 nm波段的光谱是比较理想的。

对于各公司510~540 nm波段的绿色荧光粉最强发射光谱的比较分别如图8和表2所示.A、B、C、D、E等5家公司的绿色荧光粉的发射光谱峰值波长分别是518、526、532、526和520 nm。

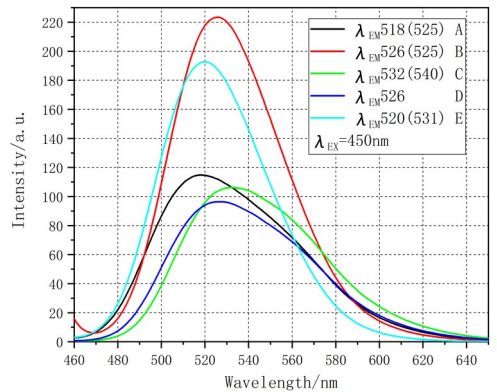


图8 绿色荧光粉对比情况图

Fig. 8 Comparison of green phosphor

表2 LED绿色粉荧光粉性能参数对比

Tab. 2 Comparison of performance parameters of LED green powder phosphor

激发波长/nm	发射波长/nm	半峰宽/nm	峰值强度	色坐标	生产商
450	518	75	114.8	(0.2715,0.6220)	A
450	526	60	223.4	(0.2473,0.6633)	B
450	532	73	106.2	(0.3257,0.6273)	C
450	526	78	96.38	(0.3018,0.6314)	D
450	520	60	192.8	(0.2108,0.6661)	E

由图8和表2可知,5家公司的绿粉色坐标差异比较大,发光强度的差异也比较大.除掉B公司的标称峰值波长与实测波长较一致外,其余几家公司的标称峰值波长与实测波长均有较大的差异.B、E两家公司的绿色荧光粉发光效率较高,用作LED白光灯珠封装使用比较理想.A公司提供的绿粉,虽然其峰值强度比B、E公司差一点,但是它有较宽的发射光谱的半高宽,使用这种绿粉可以获得光谱较好的均匀性与连续性。

另外,B与D公司的绿色荧光粉,D公司最大发光强度(发射峰值波长是526 nm左右)的绿粉是B公司最大发光强度(发射峰值波长是526 nm左右)的43.14%,虽然同是绿色荧光粉,发光强度

却相差了 56.86%。

由此知:同一颜色、不同公司生产的荧光粉发光强度相差很大。

对于各公司 580~620 nm 波段的橙红色荧光粉最强发射光谱的比较分别如图 9 和表 3 所示。A、B、C、D、E 五家公司的绿色荧光粉的发射光谱峰值波长分别是 592、583、584、612 和 616 nm。

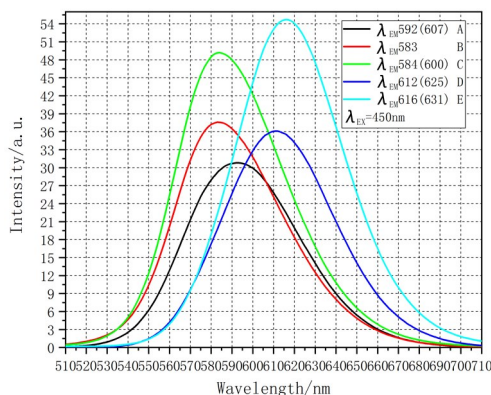


图 9 橙、红色荧光粉发射光谱对比图

Fig. 9 Comparison of emission spectra of orange and red phosphors

表 3 各公司 LED 橙、红色荧光粉性能参数对比

Tab. 3 Comparison of performance parameters of LED orange and red phosphors of various companies

激发波长/nm	发射波长/nm	半峰宽/nm	峰值强度	色坐标	生产商
450	592	66	30.82	(0.5602, 0.4362)	A
450	583	60	37.60	(0.5373, 0.4594)	B
450	584	60	49.20	(0.5418, 0.4545)	C
450	612	65	36.12	(0.6184, 0.3811)	D
450	616	62	54.72	(0.6293, 0.3663)	E

由图 9 和表 3 可知,对比 A、C、D、E 公司的橙色、粉色荧光粉的发射光谱图,其峰值波长分别是 592、583、584、612、616 nm。对比图 7 与图 8 可知,橙、红色荧光粉的发光强度普遍比起蓝绿和绿粉

低,从图 9 中可以看出,C 公司与 E 公司的橙色粉和红色荧光粉发光强度较高,可以作为 LED 白光灯珠封装选项。同样也可以看出,这些橙、红色荧光粉的标称峰值波长与实测峰值波长存在一定的差异,这对于 LED 封装配粉实现高光效不利,尤其是一些标称大于 630 nm 的红粉。

在 A、B、C、D、E 这五家商用荧光粉中,B 公司的红色荧光粉发光效率最低,但其绿色荧光粉发光效率最高,由此知:每个公司的产品都有自己的长处与短板,在配粉时,应根据应用的需要,选择不同公司的荧光粉。

3 结论

对于 LED 封装配粉技术应用,建议遵循如下工艺方案:1)LED 封装企业在封装之前,要对所采购的荧光粉进行激发光谱与发射光谱测试,同时向供应商索要荧光粉企业的测试报告;2)在配粉之前,要对芯片和荧光粉的光电色参数进行测试,了解芯片与荧光粉的光电色性质,尤其是芯片与荧光粉之间、荧光粉与荧光粉之间的配合关系;3)各种颜色的荧光粉之间的混合比例,以及荧光粉种类的多少是获得一种理想光谱的重要因素。如高光效、高显色性、低色容差的仿太阳宽光谱、LED 植物补光光谱、生物友好健康光谱的设计等;4)产业技术人员不仅需要熟悉封装设备工艺技术流程,需要对封装材料性能以及性能匹配关系有较深刻的理解;5)正确掌握影响封装质量的其他多种因素和原因。如,荧光粉、胶水的种类和性能,发光性质的调整,如色温、显色性、光效、色纯度、光衰等参数指标等。

目前市场白光 LED 灯珠使用芯片 450nm 的发射波长作为激发光谱,从光谱结构和设计原理上讲并非最佳激发波长,因此对新型 LED 封装用荧光粉及其高效统一激发性质的研究依然是非常值得深入探索的课题。

参考文献:

- [1] 王聪,杨舰,李坤,等. 区域产业优势下高职类微电子技术专业人才需求分析及人才培养模式探究[J]. 兰州文理学院学报(自然科学版), 2016, 30(4): 101-106.
WANG C, YANG J, LI K, et al. Talent demand analysis and talent training model of microelectronic technology majors in higher vocational fields under regional industrial advantages[J]. Journal of Lanzhou University of Arts and Science(Natural Science Edition), 2016, 30(4): 101-106.
- [2] 彭英,孙腾,魏银霞. 产业联盟—企业—高校产学研合作生态体系研究[J]. 教育教学论坛, 2014(23): 90-91.
PENG Y, SUN T, WEI Y X. Industry alliance-enterprise-college production-study-research cooperation ecosystem[J]. Education Teaching Forum, 2014(23): 90-91.
- [3] 张寅,施丰华,徐文飞,等. 大功率白光 LED 封装技术[J]. 照明工程学报, 2012(3): 52-55.

- ZHANG Y, SHI F H, XUE W F, et al. Packaging technology for high-power white LED[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2012(3): 52-55.
- [4] 汤坤,卓宁泽,施丰华,等.LED封装的研究现状及发展趋势[J].照明工程学报,2014(1):26-30.
TANG K,ZHOU N Z,SHI F H,et al. Research status and development trends of LED packaging[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2014(1): 26-30.
- [5] 柳丝婉,韩秋漪,李福生,等.全光谱白光LED研究进展[J].光源与照明,2019(2):14-19.
LIU S W, HAN Q Q, LI F S,et al. Research progress on full spectrum white LED [J]. Lamps & Lighting, 2019(2): 14-19.
- [6] CHEN D C, LIU Q L. Optimization of output and phosphor consumption for phosphor-converted white light-emitting diodes[J]. Rare Metals, 2014, 33(2): 203-209.
- [7] LIU Y, ZHANG J, ZHANG C, et al. $\text{Ba}_9\text{Lu}_2\text{Si}_6\text{O}_{24}:\text{Ce}^{3+}$: An Efficient green phosphor with high thermal and radiation stability for solid-state lighting[J]. Advanced Optical Materials, 2015, 3(8): 1096-1101.
- [8] LIU Y, ZHANG C, CHENG Z, et al. Origin and Luminescence of anomalous red-emitting center in rhombohedral $\text{Ba}_9\text{Lu}_2\text{Si}_6\text{O}_{24}:\text{Eu}^{2+}$ blue phosphor[J]. Inorganic Chemistry, 2016, 55(17): 8628-8635.
- [9] 郎天春.白光LED用 $\text{Sr}_3\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+},\text{Li}^+$ 及 $\text{LuAG}:\text{Ce}^{3+}$ 荧光粉的制备与性能研究[D].重庆:重庆理工大学,2015:48-49.
LANG T C. Preparation and properties of $\text{Sr}_3\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+},\text{Li}^+$ and $\text{LuAG}:\text{Ce}^{3+}$ phosphors for white LEDs[D]. Chongqing: Chongqing University of Technology, 2015: 48-49.
- [10] WANG X C, ZHAO Z Y, WU Q S, et al. Synthesis, structure and photoluminescence properties of $\text{Ca}_2\text{LuHf}_2(\text{AlO}_4)_3:\text{Ce}^{3+}$, a novel garnet-based cyan light-emitting phosphor[J]. Journal of Materials Chemistry C, 2016, 48(4): 11396-11403.
- [11] PARK W B, SON K H, SINGH S P, et al. Solid-state combinatorial screening of $\text{ARSi}_4\text{N}_7:\text{Eu}^{2+}$ (A= Sr, Ba, Ca; R= Y, La, Lu) phosphors[J]. ACS Combinatorial Science, 2012, 14(10): 537-544.
- [12] 赵涛涛,丁丽. Bi^{3+} 掺杂对 $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$ 荧光粉发光性能的影响[J].信阳师范学院学报(自然科学版),2015,28(4):493-495.
ZHAO T T, DING L. The Photoluminescence of Bi^{3+} doping $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$ phosphors[J]. Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition), 2015, 28(4): 493-495.
- [13] DU F, ZHUANG W, LIU R, et al. Synthesis, structure and luminescent properties of yellow phosphor $\text{La}_3\text{Si}_6\text{N}_{11}\text{Ce}^{3+}$ for high power white-LEDs[J]. Journal of Rare Earths, 2017(19): 1059-1064.
- [14] 陈磊,刘荣辉,庄卫东,等. Eu^{2+} 浓度变化对 $\text{Sr}_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$ 红粉热淬灭机制影响的研究[J].发光学报,2015,36(4):371-376.
CHEN L, LIU R H, ZHUANG W D, et al. Effect of Eu^{2+} concentration on the thermal quenching mechanism of $\text{Sr}_2\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$ red phosphors[J]. Chinese Journal of Luminescence, 2015, 36(4): 371-376.
- [15] LIU F, FANG Y, HOU J, et al. Garnet-based red emitting phosphors $\text{Li}_6\text{MLa}_2\text{Nb}_2\text{O}_{12}:\text{Eu}^{3+}$ (M=Ca, Sr, Ba): Photoluminescence improvement by changing crystal lattice[J]. Ceramics International, 2014, 40(2): 3237-3241.
- [16] 李涛,梁鸿霞.水热法制备 $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ 微晶及其发光性能[J].信阳师范学院学报(自然科学版),2017,30(3):436-439.
LI T, LIANG H X. Hydrothermal synthesis of $\text{Li}_{4-3x}\text{Eu}_x(\text{WO}_4)_2$ microcrystallines and its luminescent properties[J]. Journal of Xinyang Normal University (Natural Science Edition), 2017, 30(3): 436-439.
- [17] 罗小兵,张晶晶,谢斌.高光色性能的白光LED光谱设计与封装优化[M].北京:科学出版社,2018:3-10.
LUO X B,ZHANG J J, XIE B. Spectra design and packaging optimization for white light-emitting diodes with high luminous efficiency and color performance[M]. Beijing: Science Press, 2018: 3-10.
- [18] 王忆.半导体照明产业人才培养体系建设方案及标准[M].广州:中山大学出版社,2017:1-17.
WANG Y. Development schedule and criterion of talent training system for semiconductor lighting industry[M]. Guangzhou: Sun Yat-sen University Press. 2017, 1-17.
- [19] 杨广华,牛萍娟,李玉兰,等.基于半导体照明新兴产业人才培养的本科工程教育研究[J].照明工程学报,2014(1):21-25.
YANG G H, NIU P J, LI Y L, et al. Study on the cultivation of undergraduate engineering education for the new semiconductor based lighting industry[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2014(1): 21-25.
- [20] 罗亮亮,樊嘉杰,经周,等.LED白光芯片的光色一致性及光谱优化设计方法研究[J].照明工程学报,2018,29(1):1-6.
LUO L L, FAN J J, JING Z, et al. The optical and color consistency and optimal design of spectrum power distribution for LED white chips[J]. China Illuminating Engineering Journal, 2018, 29(1): 1-6.

责任编辑:任长江